

P15569-A

日 本 国 特 許 庁
JAPAN PATENT OFFICE

別紙添付の書類に記載されている事項は下記の出願書類に記載されて
いる事項と同一であることを証明する。

This is to certify that the annexed is a true copy of the following application as filed
with this Office.

出 願 年 月 日 2 0 0 2 年 1 0 月 7 日
Date of Application:

出 願 番 号 特 願 2 0 0 2 - 2 9 3 4 5 7
Application Number:
[J P 2 0 0 2 - 2 9 3 4 5 7]
ST. 10/C] :

願 人 日 本 電 信 電 話 株 式 会 社
Applicant(s):

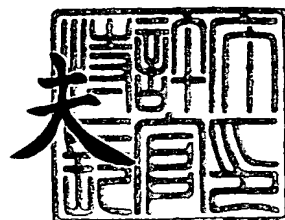
**CERTIFIED COPY OF
PRIORITY DOCUMENT**

BEST AVAILABLE COPY

2 0 0 3 年 8 月 2 7 日

特 許 庁 長 官
Commissioner,
Japan Patent Office

今 井 康 夫



【書類名】 特許願

【整理番号】 NTTH145928

【提出日】 平成14年10月 7日

【あて先】 特許庁長官殿

【国際特許分類】 H01L 21/00

【発明者】

【住所又は居所】 東京都千代田区大手町二丁目 3 番 1 号 日本電信電話株式会社内

【氏名】 内山 真吾

【特許出願人】

【識別番号】 000004226

【氏名又は名称】 日本電信電話株式会社

【代理人】

【識別番号】 100064621

【弁理士】

【氏名又は名称】 山川 政樹

【電話番号】 03-3580-0961

【手数料の表示】

【予納台帳番号】 006194

【納付金額】 21,000円

【提出物件の目録】

【物件名】 明細書 1

【物件名】 図面 1

【物件名】 要約書 1

【包括委任状番号】 0205287

【ブルーフの要否】 要

【書類名】 明細書

【発明の名称】 光平面回路型光学素子の製造方法

【特許請求の範囲】

【請求項 1】 基板上に形成された二酸化シリコン層をアンダークラッドとし、このアンダークラッド上に形成されたシリコン層を選択的にエッチングしてコアとするシリコン細線光導波路を備えた光平面回路型光学素子の製造方法において、

前記シリコン層のうち前記コアとなる領域の上面に酸化防止膜を形成する酸化防止膜形成工程と、

前記シリコン層をエッチングして前記コアを形成するエッチング工程と、

前記コアを酸化する酸化工程とを有することを特徴とする光平面回路型光学素子の製造方法。

【請求項 2】 基板上に形成された二酸化シリコン層をアンダークラッドとし、このアンダークラッド上に形成されたシリコン層を選択的にエッチングして突出部を有するリブ型のコアとするシリコンリブ型光導波路を備えた光平面回路型光学素子の製造方法において、

前記シリコン層のうち前記コアの突出部となる領域の上面に酸化防止膜を形成する酸化防止膜形成工程と、

前記シリコン層をエッチングして前記コアを形成するエッチング工程と、

前記コアを酸化する酸化工程とを有することを特徴とする光平面回路型光学素子の製造方法。

【請求項 3】 請求項 1 記載の光平面回路型光学素子の製造方法において、前記酸化防止膜形成工程は、前記シリコン層のうち、コアとなる領域の上面に前記酸化防止膜を形成すると共に、前記コアの端部と一体に連結し先端に向かって漸次断面積が小さくなるテーパ部となる領域の上面に酸化防止膜を形成し、

前記エッチング工程は、前記シリコン層をエッチングして前記コアと共に前記テーパ部を形成し、

前記酸化工程は、前記コアと共に前記テーパ部を酸化することを特徴とする光平面回路型光学素子の製造方法。

【請求項 4】 請求項 1 記載の光平面回路型光学素子の製造方法において、前記コアの断面の幅および厚さは、共に $0.2 \sim 0.5 \mu\text{m}$ であることを特徴とする光平面回路型光学素子の製造方法。

【請求項 5】 請求項 1 - 3 のいずれかに記載の光平面回路型光学素子の製造方法において、

前記酸化防止膜は、窒化シリコンからなることを特徴とする光平面回路型光学素子の製造方法。

【請求項 6】 請求項 1 - 3 のいずれかに記載の光平面回路型光学素子の製造方法において、

前記酸化防止膜は、シリコンカーバイドからなることを特徴とする光平面回路型光学素子の製造方法。

【請求項 7】 請求項 1 - 3 のいずれかに記載の光平面回路型光学素子の製造方法において、

前記酸化防止膜は、 1200°C 以上の融点を有し酸化物が不揮発性となる金属からなることを特徴とする光平面回路型光学素子の製造方法。

【請求項 8】 請求項 3 記載の光平面回路型光学素子の製造方法において、前記酸化工程によって形成された二酸化シリコン膜の屈折率を、シリコンよりも小さい範囲で大きくする工程を有することを特徴とする光平面回路型光学素子の製造方法。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】

本発明は、オプトエレクトロニクス分野、光通信分野において使用される光導波路型フィルターなどの平面光波回路において、SOI 基板上に構築されるシリコンを光導波路とする光平面回路型光学素子の製造方法に関するものである。

【0002】

【従来の技術】

近年、石英系光集積回路に代わってシリコン系光集積回路を作製することを目的としてシリコンをコア材料に、二酸化シリコンをクラッド材に使用した導波路

あるいは光デバイスが研究・開発されている。シリコンをコア材にした光導波路あるいは機能素子は、形状で大別して図8に示した埋め込み細線型と図9に示したリブ型に分けることができる。図8において、101は基板、102は基板101上に形成されたアンダークラッド層、103はシリコンからなるコア、104はオーバークラッド層である。図9において、201はシリコン基板、202は基板201上に形成されたアンダークラッド層、203はシリコンからなるスラブ、204はスラブと一体成形されたシリコンからなる装架部、205はオーバークラッド層である。

【0003】

図8に示した埋め込み細線型では、コア103の幅と厚さが共に $0.2\mu\text{m} \sim 0.5\mu\text{m}$ で幅と厚さが異なる構造、またはコア103の幅と厚さが共に $0.2\mu\text{m} \sim 0.5\mu\text{m}$ で幅と厚さが等しい構造となっている。これらの寸法は、光を単一モードで閉じ込めるという条件から決まっている。オーバークラッド層104には、有機系ポリマー等を用いる場合もあるが、アンダークラッド層102には二酸化シリコンを用いるのが一般的となっている。そのため、半導体集積回路製造用に開発されたSOI基板を使用してシリコン平面光回路を作製する方法が一般的になっている。

【0004】

SOI基板を使用する場合には、BOX層と呼ばれる酸化膜層をアンダークラッド層として使用しており、上部シリコン層を導波路構造あるいは光機能デバイス構造に加工した後に、このデバイスあるいは導波路を覆うように上部にオーバークラッド層を積層させ、平面回路型光学素子を作製している。これらのデバイスあるいは導波路と光ファイバとの接続で問題となるのが、それぞれのモードフィールド径であり、シリコン細線光導波路ではモードフィールド径がサブミクロンのオーダーとなる。したがって、シリコン細線光導波路とモードフィールド径の大きい光ファイバとを効率的に直接接続することは困難であり、低損失な接続を行うためには、スポットサイズの変換が必要である。

【0005】

そこで、光ファイバとの接続部となるシリコン細線光導波路コアの端部に、コ

アの断面高さ（厚さ）を維持した状態で幅寸法が先端に向かって細くなるように形成したテーパ部を設けることにより、ファイバとの接続損失を低減するスポットサイズ変換構造が提案されている。これまでに、このスポットサイズ変換構造を用いて低挿入損失な平面回路型光学素子が達成されている。

【0 0 0 6】

以上のような埋め込み細線型のシリコン光平面回路型光学素子では、一般にシリコンパターンをリソグラフィ技術で形成している。すなわち、電子線露光法あるいは光露光法を用いて、シリコン層の上にレジストパターンを形成し、このレジストパターンをマスクにしてシリコン層をエッチングして光導波路などのパターンを形成する。あるいは、シリコン層の上にエッチングハードマスク層を形成し、このエッチングハードマスク層の上にレジストパターンを形成して、レジストパターンをマスクにしてエッチングハードマスク層をエッチングしてハードマスクを形成し、このハードマスクを用いてシリコン層をエッチングする。

【0 0 0 7】

エッチングしたシリコンパターンの側壁部の荒れ（凹凸）はこのシリコンパターンを通過する光の伝搬損失に影響を与えるため、パターン形成で最も重要なことは、パターン側壁部の荒れを極力低減することである。このため、パターン形成後にパターン側壁部の荒れを改善する方法として、シリコンパターンを酸化してパターン側壁部を平坦化する方法が提案されている（例えば、非特許文献 1 参照）。図 1 0 に、シリコンパターンを酸化した埋め込み細線型光平面回路型光学素子の断面構造を示す。図 1 0 において、3 0 1 は基板、3 0 2 は基板 3 0 1 上に形成されたアンダークラッド層、3 0 3 はシリコンからなるコア、3 0 4 はコア 3 0 3 の酸化によって形成された二酸化シリコンである。

【0 0 0 8】

一方、図 9 に示したリブ型の光導波路あるいは光機能デバイスの作製においても、埋め込み細線型と同様にリソグラフィ技術が利用される。また、埋め込み細線型と同様に、パターン側壁部の荒れが伝搬損失に与える影響が報告されている（例えば、非特許文献 2 参照）。したがって、リブ型の構造においても、パターン側壁部の荒れを低減することが重要であり、パターン形成後にシリコンパター

ンを酸化する方法が有効と考えられる。

【0009】

【非特許文献1】

ケビン・K・リー (Kevin K. Lee)、他2名、「ファブリケーションオブウルトラロウロス Si/SiO₂ ウエーブガイドバイラフネスリデュケーション (Fabrication of ultralow-loss Si/SiO₂ waveguides by roughness reduction)」, オプティクスレターズ (OPTICS LETTERS), 2001年12月1日, Vol. 26, No. 23, p. 1888-1890

【非特許文献2】

A・G・リックマン (A.G. Rickman)、他2名、「シリコンオンインシュレーターオプティカルリブウエーブガイドロスアンドモードキャラクターISTICS (Silicon-on-Insulator Optical Rib waveguide Loss and Mode Characteristics)」, ジャーナルオブライトウエーブテクノロジー (JOURNAL OF LIGHTWAVE TECHNOLOGY), 1994年10月, Vol. 12, No. 10, p. 1771-1776

【0010】

【発明が解決しようとする課題】

シリコンパターン形成後に酸化によりパターン側壁部を平坦化する方法では、光導波路あるいは光機能デバイスを構成しているシリコン（例えば図10のコア303）が高温雰囲気中の酸素と結合して二酸化シリコンに変質するので、シリコンパターンは幅、厚さ共に減少する。このため、従来の光平面回路型光学素子では、上部シリコン層の厚さが最終的なシリコンパターンの厚さよりも厚いSOI基板を用いる必要があり、酸化量に応じてSOI基板の上部シリコン層の厚さを予め調整しなければならないという問題点があった。

【0011】

本発明は、上記課題を解決するためになされたもので、シリコンパターンの酸化工程を有する光平面回路型光学素子の製造方法において、シリコン層の厚さを変化させずに所望の形状のパターンを得る方法を提供することを目的とする。

【0012】

【課題を解決するための手段】

本発明は、基板上に形成された二酸化シリコン層をアンダークラッドとし、このアンダークラッド上に形成されたシリコン層を選択的にエッチングしてコアとするシリコン細線光導波路を備えた光平面回路型光学素子の製造方法において、前記シリコン層のうち前記コアとなる領域の上面に酸化防止膜を形成する酸化防止膜形成工程と、前記シリコン層をエッチングして前記コアを形成するエッチング工程と、前記コアを酸化する酸化工程とを有するものである。アンダークラッドは、コアよりも屈折率が小さい材料からなる。シリコン層のうちコアとなる領域の上面に酸化防止膜を形成することにより、コアの上面が酸化しないようにすることができ、コアの側壁部のみを酸化することができる。

また、本発明は、基板上に形成された二酸化シリコン層をアンダークラッドとし、このアンダークラッド上に形成されたシリコン層を選択的にエッチングして突出部を有するリブ型のコアとするシリコンリブ型光導波路を備えた光平面回路型光学素子の製造方法において、前記シリコン層のうち前記コアの突出部となる領域の上面に酸化防止膜を形成する酸化防止膜形成工程と、前記シリコン層をエッチングして前記コアを形成するエッチング工程と、前記コアを酸化する酸化工程とを有するものである。シリコン層のうちコアの突出部となる領域の上面に酸化防止膜を形成することにより、突出部の上面が酸化しないようにすることができる。

また、本発明の光平面回路型光学素子の製造方法の1構成例において、前記酸化防止膜形成工程は、前記シリコン層のうち、コアとなる領域の上面に前記酸化防止膜を形成すると共に、前記コアの端部と一体に連結し先端に向かって漸次断面積が小さくなるテーパ部となる領域の上面に酸化防止膜を形成し、前記エッチング工程は、前記シリコン層をエッチングして前記コアと共に前記テーパ部を形成し、前記酸化工程は、前記コアと共に前記テーパ部を酸化するようにしたものである。シリコン層のうちテーパ部となる領域の上面に酸化防止膜を形成することにより、テーパ部の上面が酸化しないようにすることができ、テーパ部の側壁部のみを酸化することができる。

【0013】

また、本発明の光平面回路型光学素子の製造方法の1構成例において、前記コアの断面の幅および厚さは、共に $0.2 \sim 0.5 \mu\text{m}$ である。

また、本発明の光平面回路型光学素子の製造方法の1構成例において、前記酸化防止膜は、窒化シリコンからなるものである。

また、本発明の光平面回路型光学素子の製造方法の1構成例において、前記酸化防止膜は、シリコンカーバイドからなるものである。

また、本発明の光平面回路型光学素子の製造方法の1構成例において、前記酸化防止膜は、 1200°C 以上の融点を有し酸化物が不揮発性となる金属からなるものである。

また、本発明の光平面回路型光学素子の製造方法の1構成例は、前記酸化工程によって形成された二酸化シリコン膜の屈折率を、シリコンよりも小さい範囲で大きくする工程を有するものである。

【0014】

【発明の実施の形態】

〔第1の実施の形態〕

以下、本発明の実施の形態について図面を参照して詳細に説明する。図1(a)は本発明の第1の実施の形態となるシリコン光平面回路型光学素子の平面図、図1(b)は図1(a)の光学素子のA-A線断面図、図1(c)は図1(a)の光学素子のB-B線断面図である。本実施の形態のシリコン光平面回路型光学素子は、シリコン細線光導波路と、シリコン細線光導波路よりモードフィールド径が大きい光導波路とシリコン細線光導波路とを光学的に接続するスポットサイズ変換構造とを備えた光機能デバイスである。

【0015】

図1において、1はシリコン細線光導波路、2はスポットサイズ変換構造、3は接続導波路、11はバルクシリコン基板、12は二酸化シリコンからなるアンダークラッド層、13は二酸化シリコン膜、14はシリコン細線光導波路1のコア、15はコア14の端部に、コア14の断面高さ(厚さ)を維持した状態で幅寸法が先端(接続導波路側)に向かって漸次細くなるように形成されたシリコンからなるテーパ部、16はスポットサイズ変換構造2及び接続導波路3のコア、

17は二酸化シリコンからなるオーバークラッド層である。シリコン細線光導波路1では、コア14の幅と厚さが共に $0.2\mu\text{m}\sim 0.5\mu\text{m}$ で幅と厚さが異なる構造、またはコア14の幅と厚さが共に $0.2\mu\text{m}\sim 0.5\mu\text{m}$ で幅と厚さが等しい構造となっている。

【0016】

テーパ部15は、その側面に形成された二酸化シリコン膜13とともに、コア16により覆われている。このテーパ部15がコア16により覆われている区間がスポットサイズ変換構造2となり、ここでは、テーパ部15とコア16とが光学的に結合する状態となっている。テーパ部15とコア16との位置関係は、軸線同士が一致していることが望ましいが、コア16の幅内にテーパ部15が収まる程度の状態であれば良く、厳密な整合性を必要とするものではない。

【0017】

次に、本実施の形態の光モジュールにおける光の伝搬状態を説明する。図1(a)、図1(b)に示したシリコン細線光導波路コア14の左端面から入射した光は、コア14を伝搬しテーパ部15の左端位置に到達する。光がテーパ部15を図1(a)の右方向に伝搬するにつれて、コア幅が徐々に狭まり光の閉じこめが弱くなりモードフィールドが周囲に広がろうとする。ところが、このときアンダークラッド層12より屈折率の高いコア16が隣接して存在するため、光パワーの分布はシリコン細線光導波路コア14からコア16へ徐々に移っていく。

【0018】

前記とは逆に図1(a)、図1(b)に示したコア16の右端部から光が入射した場合には、右から左へ光が進行するにつれてコア16、テーパ部15を介して、シリコン細線光導波路コア14へ光の分布が移動する。このように、テーパ部15を介してシリコン細線光導波路コア14と接続導波路コア16とを接続することで、効率の高いモードフィールド径変換を実現することができる。

【0019】

次に、本実施の形態のシリコン光平面回路型光学素子の製造方法について説明する。図2、図3は、シリコン光平面回路型光学素子の製造方法を示す工程断面図である。本実施の形態では、バルクシリコン基板11と、バルクシリコン基板

11上に形成されたアンダークラッド層12と、アンダークラッド層12上に形成されたシリコン層21とからなるSOI基板をスターティング基板として使用する(図2(a))。

【0020】

このSOI基板のシリコン層21の表面にECR-CVD法あるいはLPCVD法などの方法を用いて、窒化シリコン膜22を積層させる(図2(b))。続いて、窒化シリコン膜22の上にレジストを塗布し、電子線露光法あるいは光露光法などの露光法を利用してレジストに所望のパターン形状を焼き付けた後、現像して所望の形状のレジストパターン23を得る(図2(c))。

【0021】

そして、レジストパターン23をマスクにして窒化シリコン膜22をエッチングする(図2(d))。窒化シリコン膜22のエッチングの一例を示すと、g線用フォトリソレジストをエッチングマスクとして、 CF_4/O_2 をエッチングガスとして使用すれば、十分な選択比が得られる。別のガスを使用しても何ら問題ない。

【0022】

なお、レジストパターン23と窒化シリコン膜22との間に十分な選択比が得られない場合には、窒化シリコン膜22をエッチングするためのエッチングハードマスクを使用してもよい。この場合には、窒化シリコン膜22の上にエッチングハードマスク層を堆積し、エッチングハードマスク層の上にレジストを塗布して、このレジストを加工してレジストパターン23を形成する。そして、レジストパターン23をマスクにしてエッチングハードマスク層をエッチングしてエッチングハードマスクを形成し、このエッチングハードマスクを用いて窒化シリコン膜22をエッチングすればよい。

【0023】

続いて、窒化シリコン膜22をエッチングマスクにしてシリコン層21をエッチングしてシリコン細線光導波路コア14およびテーパ部15を形成する(図2(e))。シリコン層21のエッチングの前にレジストパターン23を除去してもよいし、レジストパターン23を残したままシリコン層21をエッチングしてもよい。レジストパターン23を残したままシリコン層21をエッチングした場

合には、シリコン層 21 のエッチング後にレジストパターン 23 を除去する必要がある。図 4 は、図 2 (e) のエッチング工程が完了したときのシリコン細線光導波路コア 14 とテーパ部 15 の斜視図である。なお、図 4 では、窒化シリコン膜 22 を省略している。

【0024】

次に、シリコン細線光導波路コア 14 およびテーパ部 15 を形成した SOI 基板全体を高温熱酸化炉で加熱して、シリコン細線光導波路コア 14 およびテーパ部 15 を酸化させる。このとき、シリコン細線光導波路コア 14 およびテーパ部 15 の上面には窒化シリコン膜 22 が存在し、その側面には窒化シリコン膜 22 が存在しないので、シリコン細線光導波路コア 14 およびテーパ部 15 の側壁部のみが選択的に酸化され、この側壁部に二酸化シリコン膜 13 が形成される（図 2 (f)）。

【0025】

ここまでの説明から明らかなように、レジストパターン 23 は、窒化シリコン膜 22 を加工してエッチングマスクを形成するためのものであり、加工した窒化シリコン膜 22 を用いてシリコン層 21 をエッチングしてシリコン細線光導波路コア 14 およびテーパ部 15 を形成するのであるから、図 2 (e) のエッチング工程が完了したときのシリコン細線光導波路コア 14 およびテーパ部 15 の平面形状は、レジストパターン 23 の平面形状と略同一である（エッチング工程での寸法変化があるので、完全な同一ではない）。

【0026】

ただし、シリコン細線光導波路コア 14 およびテーパ部 15 の形成後に、図 2 (f) の熱酸化工程によってシリコンの幅が細くなるので、酸化で減少する量を考慮してシリコン細線光導波路コア 14 およびテーパ部 15 の幅（すなわち、レジストパターン 23 の幅）を太めに設定しておく必要がある。

【0027】

図 2 (f) を拡大した断面図を図 5 に示す。図 5 において、13a は二酸化シリコン膜 13 のうち酸化前にシリコン層であった部分、13b は酸化に伴う膨張によって形成された部分である。また、W1 は酸化後のシリコン細線光導波路コ

ア14の幅、T1は酸化後のシリコン細線光導波路コア14の厚さ、T2は二酸化シリコン膜13の厚さ、T3は二酸化シリコン膜13aおよび13bの厚さである。

【0028】

熱酸化工程では、酸化したシリコンの厚さT3の2倍の厚さT2の二酸化シリコン膜13が形成される。言い換えると、パターンの両側でそれぞれ厚さT3のシリコンが二酸化シリコン膜13に変質するので、全体として二酸化シリコン膜13の厚さT2の分だけシリコンが酸化したことになる。したがって、例えば $T2 = 100\text{ nm}$ の二酸化シリコン膜13を熱酸化工程で形成する場合で、かつ $W1 = 300\text{ nm}$ のシリコン細線光導波路コア14を形成する場合では、熱酸化工程前のシリコン細線光導波路コア14の幅を 400 nm にする必要がある。レジストパターン23の寸法は、エッチング工程での寸法変化、いわゆる寸法変換差を考慮した寸法にする必要があることは言うまでもない。

【0029】

酸化によってシリコンの幅が細くなるのはテーパ部15も同様であり、テーパ部15がシリコン細線光導波路コア14から先端に向かって漸次細くなるように酸化前の形をテーパ状に形成しておけば、酸化後の形もテーパ状となることは言うまでもない。

【0030】

熱酸化工程の完了後、窒化シリコン膜22をエッチングなどの手法により除去する(図3(a))。続いて、シリコン細線光導波路コア14、テーパ部15および二酸化シリコン膜13を形成したSOI基板上に、シリコンより屈折率が小さくアンダークラッド層12より屈折率大きい例えばポリマー系材料を化学気相成長法あるいはスピンコーティング法などにより堆積し、このポリマー系材料を光露光法とエッチングにより加工して、コア14よりも断面形状が大きいコア16を形成する。

【0031】

そして、シリコン細線光導波路コア14、テーパ部15、二酸化シリコン膜13およびコア16を形成したSOI基板上に、アンダークラッド層12と同じ屈

折率を持つ石英系あるいはポリマー系材料を堆積して、オーバークラッド層 17 を形成する（図 3（b））。こうして、図 1 のシリコン光平面回路型光学素子が完成する。なお、予め窒化シリコン膜 22 を光デバイスの一部になるように設計している場合には、窒化シリコン膜 22 は除去しなくてもよい。

【0032】

以上のように、本実施の形態では、シリコン層 21 のエッチング前に堆積した窒化シリコン膜 22 をシリコンエッチング時のハードマスクとして使用した後に、この窒化シリコン膜 22 を残したまま熱酸化を行う。窒化シリコンは酸化されにくい材料、すなわち酸化防止効果を示す材料なので、窒化シリコン膜 22 で覆われているシリコン層 21 の上面は酸化されず、窒化シリコン膜 22 で覆われていないシリコン層 21 の側壁部のみが酸化される。その結果、シリコン層 21 の厚さを、あらかじめ酸化量を加味した分だけ厚くしておく必要がなくなる。

【0033】

また、本実施の形態では、従来に比べて酸化前のシリコンパターンを薄くできることから、酸化前のシリコンパターンのアスペクト比（シリコンの幅を a 、厚さを b としたとき、アスペクト比 $= b/a$ ）が小さくなり、パターン形成の余裕度を増すことができる。図 6 に、従来の光平面回路型光学素子と本実施の形態の光平面回路型光学素子における、パターン幅と要求されるパターンアスペクト比との関係を示す。図 6 の例では、酸化後のシリコンパターンの厚さを 300 nm 、酸化によって形成される二酸化シリコンの厚さを 100 nm としている。

【0034】

図 6 によれば、本実施の形態の方が従来よりも小さなアスペクト比のパターンを形成すればよいことが明らかである。その結果、シリコン光平面回路型光学素子の作製においては、作製の余裕度が増してコスト的に安価な露光システムを使用してパターン形成することができる。

【0035】

なお、通信に使用される光の波長（例えば $1.55\text{ }\mu\text{m}$ ）に対して二酸化シリコン膜 13 は十分に薄いため、シリコン細線光導波路コア 14 とコア 16 との光学的接続に二酸化シリコン膜 13 が影響を与える可能性は小さいが、二酸化シリ

コン膜 13 の屈折率がアンダークラッド層 12 より大きいことがより望ましい。二酸化シリコン膜 13 の屈折率を大きくするには、コア 16 を形成する前に、例えば二酸化シリコン膜 13 にゲルマニウム等をイオン打ち込みすればよい。これにより、二酸化シリコン膜 13 の屈折率を、シリコンよりも小さい範囲で大きくすることができ、シリコン細線光導波路コア 14 とコア 16 との光学的接続をより確実なものとすることができる。

【0036】

[第 2 の実施の形態]

図 7 は本発明の第 2 の実施の形態となるシリコン光平面回路型光学素子の断面図であり、図 1 と同様の構成には同一の符号を付してある。本実施の形態のシリコン光平面回路型光学素子は、シリコンリブ型光導波路を備えた光機能デバイスである。シリコンからなるリブ型のコア 18 は、板状のスラブ 18 a と、スラブ 18 a から突出するようにスラブ 18 a と一体成形された細線状の装架部（突出部） 18 b とからなる。

【0037】

本実施の形態においても光平面回路型光学素子の製造方法は、第 1 の実施の形態とほぼ同様であるので、第 1 の実施の形態の符号を用いて説明する。第 1 の実施の形態と異なるのは、図 2（d）の工程後に窒化シリコン膜 22 をエッチングマスクにしてシリコン層 21 をエッチングする際に、図 2（e）のようにアンダークラッド層 12 に達するまでシリコン層 21 を全てエッチングするのではなく、エッチングを途中で停止することである。これにより、途中までエッチングした部分がスラブ 18 a となり、窒化シリコン膜 22 の下部が装架部 18 b となって、リブ型のコア 18 が形成される。

【0038】

そして、窒化シリコン膜 22 を残したまま、第 1 の実施の形態と同様に熱酸化を行うと、窒化シリコン膜 22 で覆われている装架部 18 b の上面は酸化されず、窒化シリコン膜 22 で覆われていないスラブ 18 a の上面および装架部 18 b の側壁部のみが酸化される。その結果、本実施の形態においても、第 1 の実施の形態と同様の効果を得ることができる。

【0039】

なお、第1、第2の実施の形態では、窒化シリコンを酸化防止膜として使用したが、Ta、Wなどの高融点金属で酸化物を形成しないかあるいは酸化物の揮発性が小さい金属を酸化防止膜として使用してもよい。酸化防止膜として使用する金属の融点は、光平面回路型光学素子の製造工程で使用される温度以上であればよく、好ましくは1200℃以上がよい。また、シリコンカーバイドなどの別のシリコン系材料を酸化防止膜として使用してもよい。

【0040】

【発明の効果】

本発明によれば、シリコン層のうちコアとなる領域の上面に酸化防止膜を形成して、コアを酸化することにより、コアの上面が酸化しないようにすることができ、コアの側壁部のみを選択的に酸化して平坦化することができる。その結果、シリコン層の厚さを、あらかじめ酸化量を加味した分だけ厚くしておく必要がなくなり、上部シリコン層の厚さが最終的なコアの厚さよりも厚いSOI基板を用いる必要がなくなり、基板の管理がしやすくなる。また、酸化前のシリコンパターンのアスペクト比が小さくなるので、パターン形成の余裕度を増すことができる。その結果、シリコン光平面回路型光学素子の作製においては、作製の余裕度が増してコスト的に安価な露光システムを使用してパターン形成することができる。

【0041】

また、シリコン層のうちコアの突出部となる領域の上面に酸化防止膜を形成して、コアを酸化することにより、突出部の上面が酸化しないようにすることができる。その結果、シリコン層の厚さを、あらかじめ酸化量を加味した分だけ厚くしておく必要がなくなり、基板の管理がしやすくなる。また、パターン形成の余裕度が増すことから、コスト的に安価な露光システムを使用してパターン形成することができる。

【0042】

また、シリコン層のうちテーパー部となる領域の上面に酸化防止膜を形成して、テーパー部を酸化することにより、テーパー部の上面が酸化しないようにすることが

でき、テーパ部の側壁部のみを選択的に酸化して平坦化することができる。その結果、シリコン層の厚さを、あらかじめ酸化量を加味した分だけ厚くしておく必要がなくなり、基板の管理がしやすくなる。また、パターン形成の余裕度が増すことから、コスト的に安価な露光システムを使用してパターン形成することができる。

【0043】

また、酸化工程によって形成された二酸化シリコン膜の屈折率を、シリコンよりも小さい範囲で大きくすることにより、シリコン細線光導波路よりモードフィールド径が大きい光導波路とシリコン細線光導波路との光学的接続をより確実なものとすることができる。

【図面の簡単な説明】

【図1】 本発明の第1の実施の形態となるシリコン光平面回路型光学素子の平面図および断面図である。

【図2】 本発明の第1の実施の形態のシリコン光平面回路型光学素子の製造方法を示す工程断面図である。

【図3】 本発明の第1の実施の形態のシリコン光平面回路型光学素子の製造方法を示す工程断面図である。

【図4】 シリコン細線光導波路コアとテーパ部の斜視図である。

【図5】 本発明の第1の実施の形態における熱酸化後のシリコン光平面回路型光学素子の拡大断面図である。

【図6】 本発明の第1の実施の形態と従来のシリコン光平面回路型光学素子におけるパターン幅とパターンアスペクト比との関係を示す図である。

【図7】 本発明の第2の実施の形態となるシリコン光平面回路型光学素子の断面図である。

【図8】 従来の埋め込み細線型の光平面回路型光学素子の断面図である。

【図9】 従来のリブ型の光平面回路型光学素子の断面図である。

【図10】 シリコンパターンを酸化した従来の埋め込み細線型光平面回路型光学素子の断面図である。

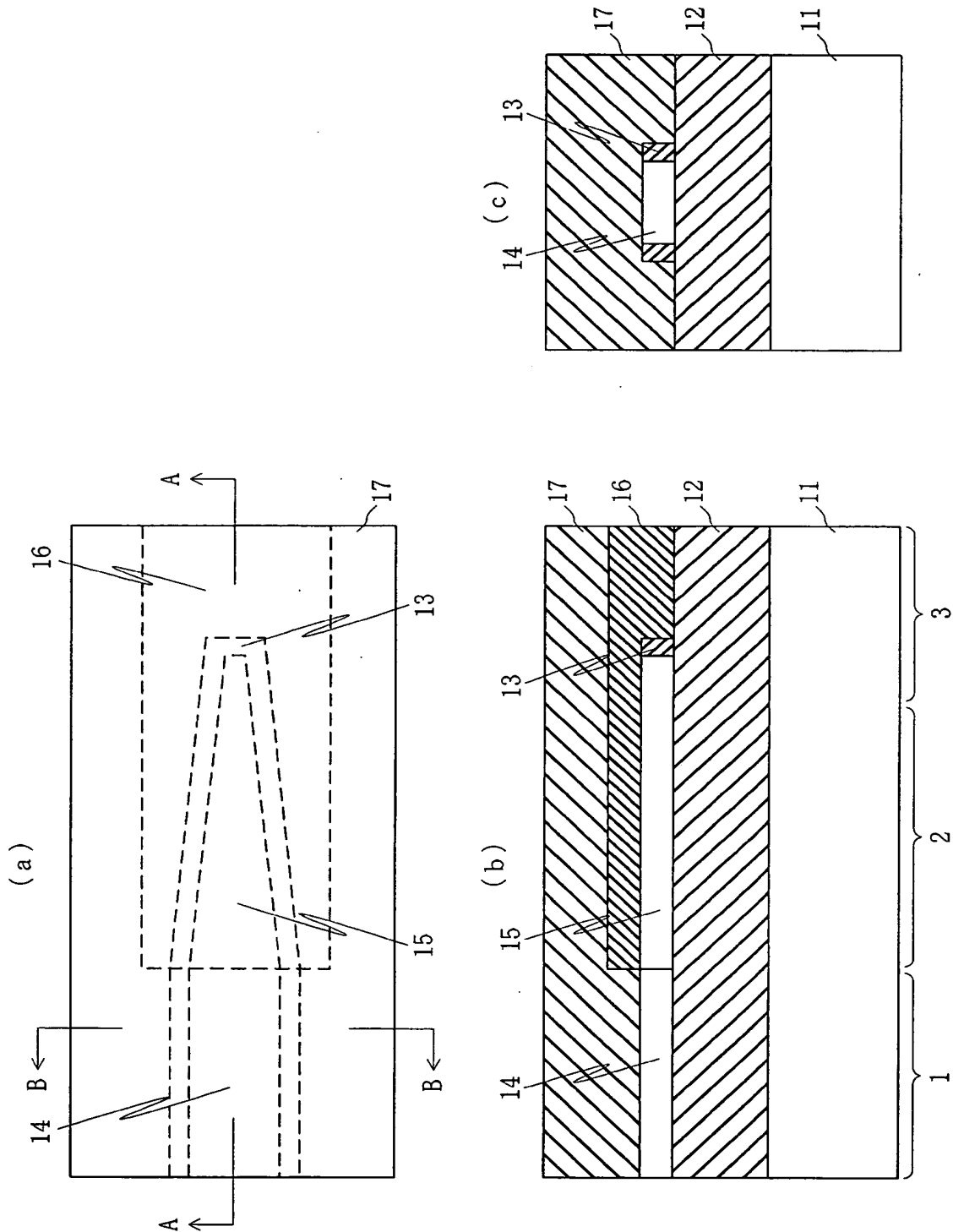
【符号の説明】

1…シリコン細線光導波路、2…スポットサイズ変換構造、3…接続導波路、
1 1…バルクシリコン基板、1 2…アンダークラッド層、1 3…二酸化シリコン
膜、1 4…シリコン細線光導波路コア、1 5…テーパ部、1 6…コア、1 7…オ
ーバークラッド層、1 8…リブ型コア、1 8 a…スラブ、1 8 b…装架部、2 1
…シリコン層、2 2…窒化シリコン膜、2 3…レジストパターン。

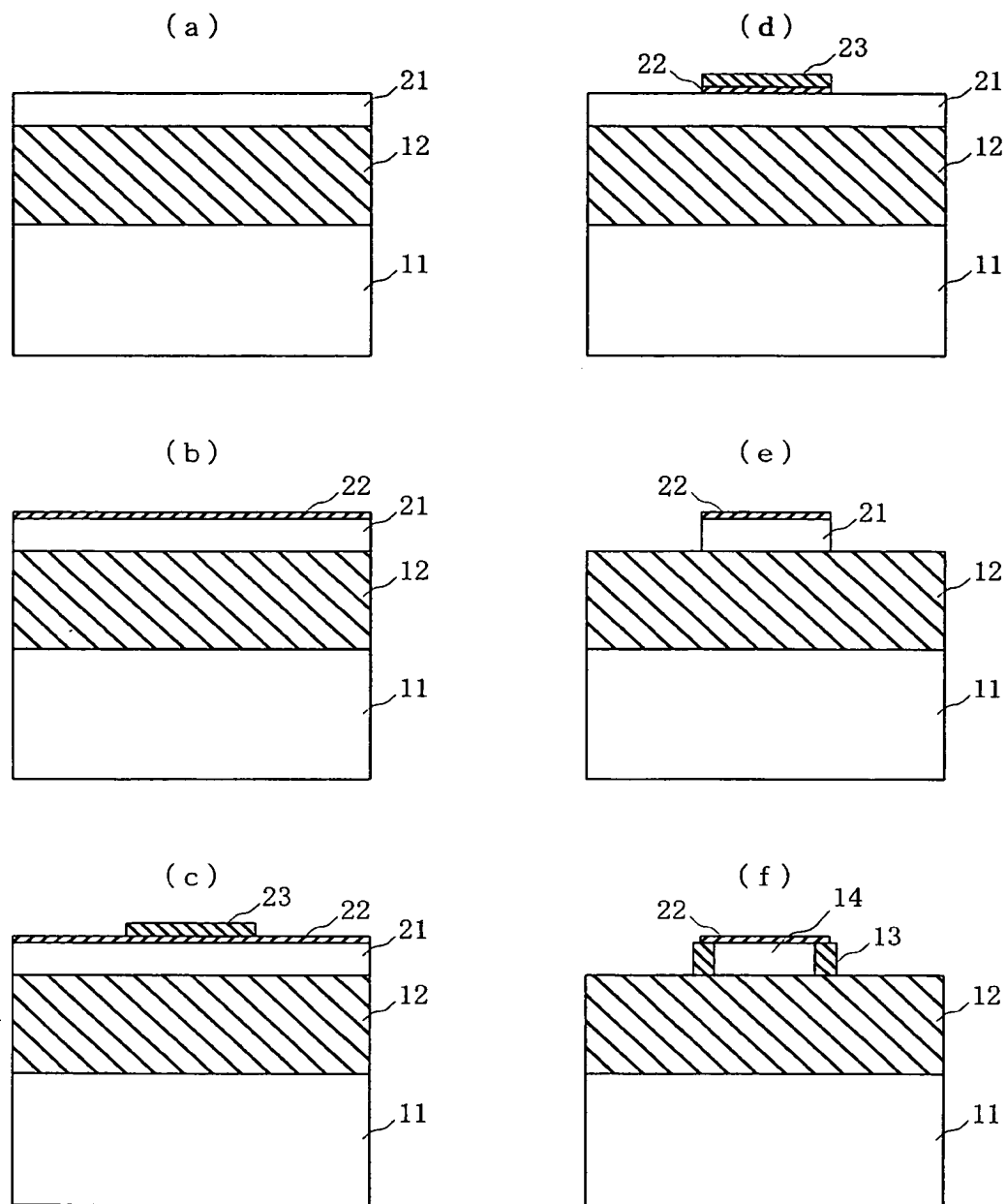
【書類名】

図面

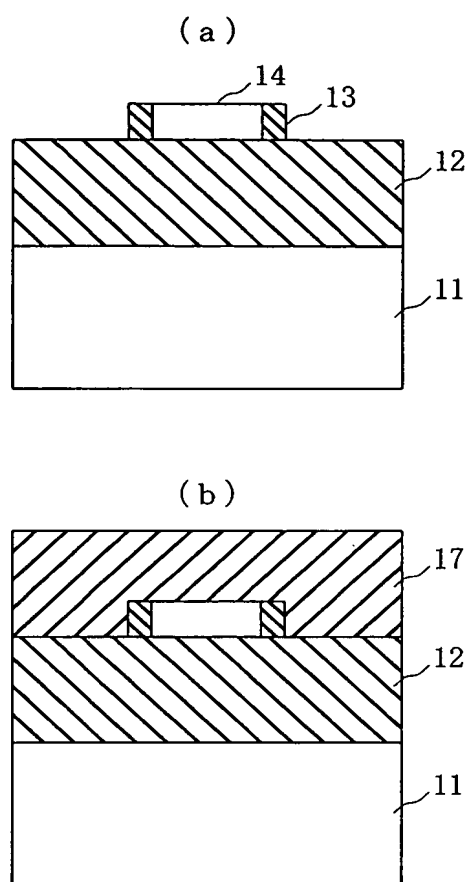
【図 1】



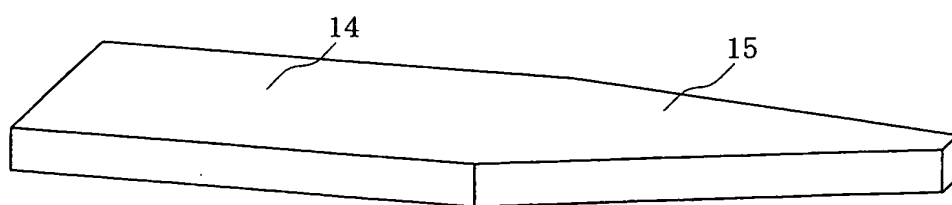
【図 2】



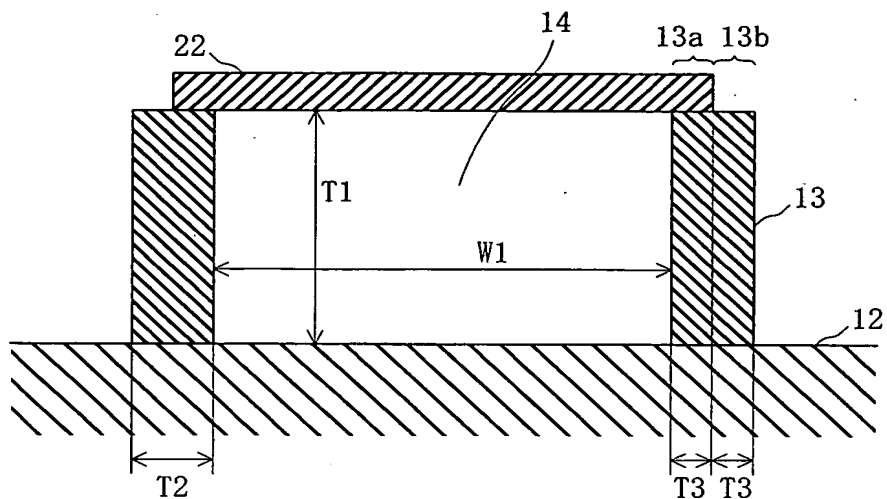
【図 3】



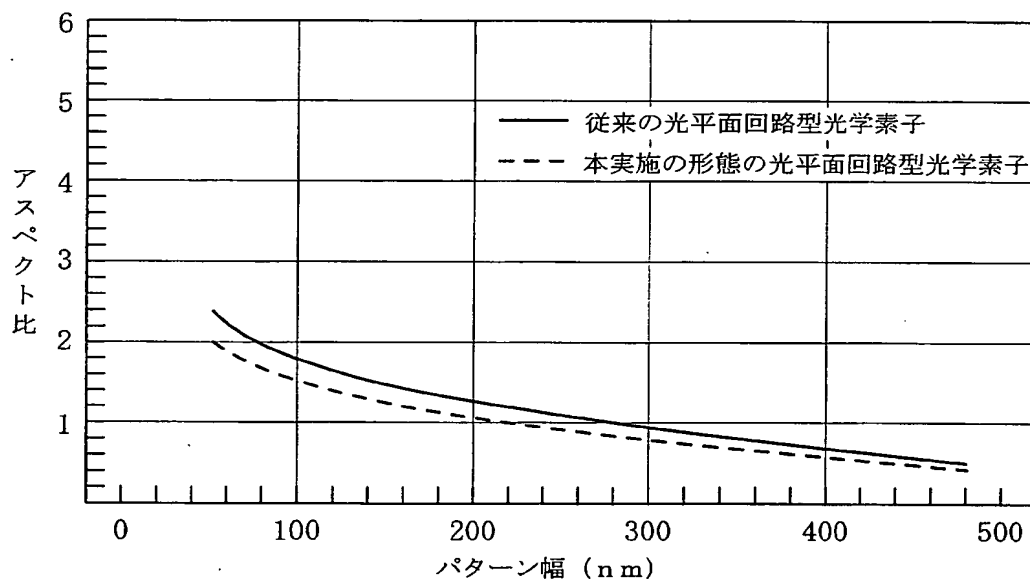
【図 4】



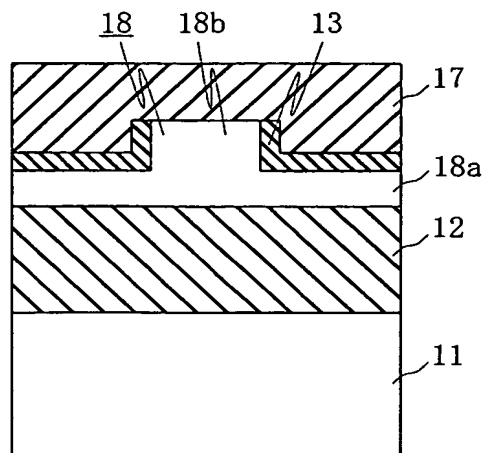
【図 5】



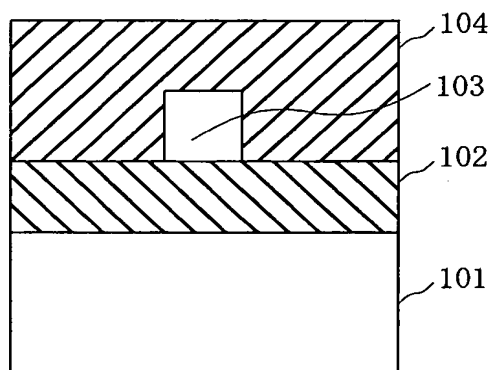
【図 6】



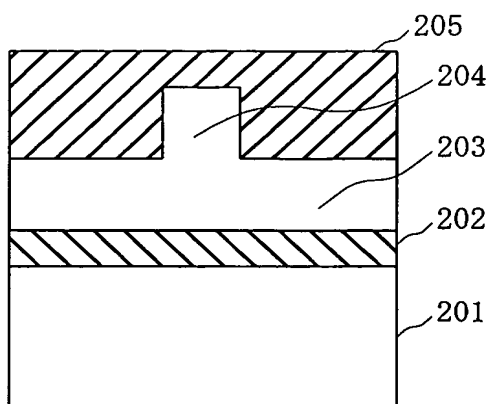
【図 7】



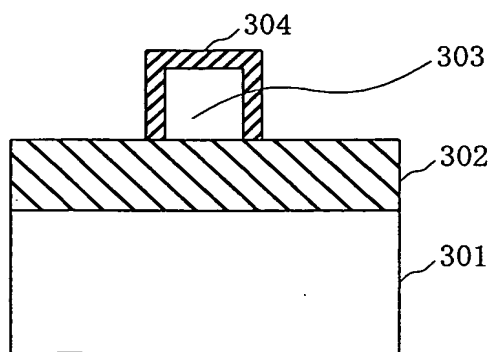
【図 8】



【図 9】



【図 10】



【書類名】 要約書

【要約】

【課題】 シリコンパターンの酸化工程を有する光平面回路型光学素子の製造方法において、シリコン層の厚さを変化させずに所望の形状のパターンを得る。

【解決手段】 シリコン層 2 1 のうちコアおよびテーパ部となる領域の上面に窒化シリコン膜 2 2 を形成する工程（図 2（d））と、窒化シリコン膜 2 2 をマスクにしてシリコン層 2 1 をエッチングしてコアおよびテーパ部を形成する工程（図 2（e））と、コアおよびテーパ部を熱酸化する工程（図 2（f））とを有する。コアおよびテーパ部の側壁部には二酸化シリコン膜 1 3 が形成される。

【選択図】 図 2

特願 2 0 0 2 - 2 9 3 4 5 7

出 願 人 履 歴 情 報

識別番号

[0 0 0 0 0 4 2 2 6]

1. 変更年月日

1 9 9 9 年 7 月 1 5 日

[変更理由]

住所変更

住 所

東京都千代田区大手町二丁目 3 番 1 号

氏 名

日本電信電話株式会社